

Abb. 3: Mittlere Methankonzentration in Abhängigkeit der mittleren Filtertiefe unter Geländeoberkante

Bedeutung für die Umwelt

Methan ist nach Kohlendioxid das zweitwichtigste Treibhausgas sowie ein wichtiger Vorläuferstoff für die Bildung von bodennahem Ozon (O_3). Ozon als Luftschadstoff ist mit negativen Gesundheitseffekten verbunden und schädigt Ökosysteme und Nutzpflanzen [7]. Die Verminderung von Methanemissionen in die Atmosphäre ist weltweit in den Vordergrund gerückt. Eine regionale Quantifizierung der natürlichen Methanemissionen aus dem Grundwasser ist bislang nicht verfügbar.

In der Tiefengeothermie kann Methan im Thermalwasser gelöst sein. Durch geschlossene Führung des Thermalwasserkreislaufes ist es möglich eine Emission zu vermindern, alternativ kann das mitgeförderte Methan mit gasmotorischen Generatoren verstromt werden [8].

Laut der Göthe Universität Frankfurt kann die klimawandelbedingte Erwärmung der Ozeane zur verstärkten Ausgasung von Methan in die Atmosphäre führen. Dieses befindet sich in großen Mengen (Schätzungsweise 200.000 Gigatonnen) unter dem Meeresgrund und kommt dort als Methanhydrat in instabiler Form vor, das bei Erwärmung zunehmend freigesetzt werden kann [9].

Methan im Grundwasser hat ganz aktuell noch eine andere Bedeutung erlangt. Forschende der Universität Tübingen haben nachweisen können, dass Methan verbrauchende Bakterien mit Hilfe dieser Energiequelle in der Lage sind unter anaeroben Bedingungen Eisen-Arsen-Verbindungen aufzulösen und dabei Arsen im Grundwasser zu mobilisieren [10].

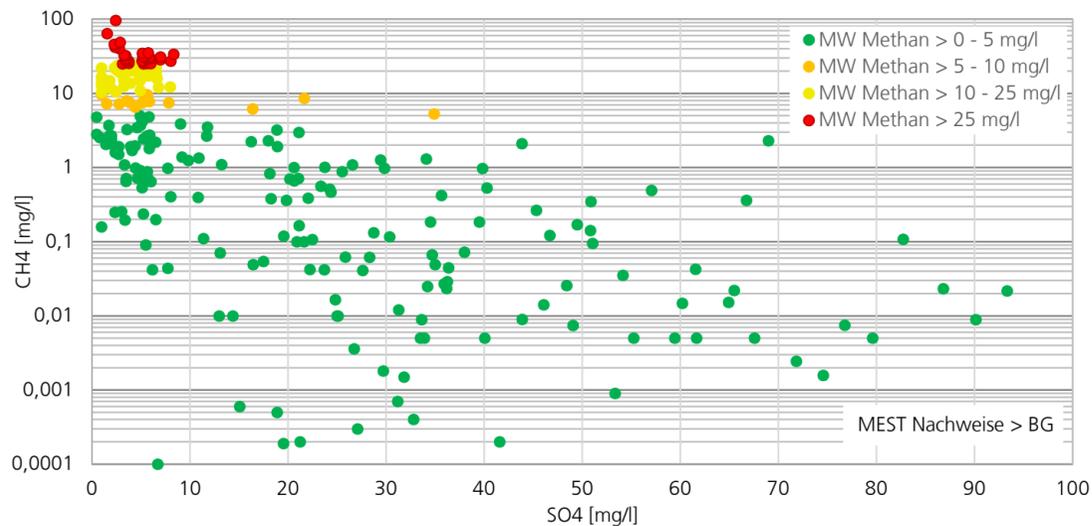


Abb. 4: Mittlere Sulfat-Konzentration in Abhängigkeit von der mittleren Methankonzentration

Bedeutung für die Trinkwassergewinnung

Natürlich im Grundwasser gelöstes Methan erschwert die Grundwasseraufbereitung zu Trinkwasser, weil es das mikrobiologische Wachstum von Methan abbauenden Bakterien in den Filterkesseln übermäßig fördert (Biofilm). In der Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasserzwecken müssen gelöste Gase durch geeignete Verfahren entfernt werden, damit das Trinkwasser z.B. nicht kalklösend wirkt oder die Oxidation von Eisen und anschließende Filtration nicht gestört wird. Weiterhin spielt beim Betrieb von Förderbrunnen zur Grundwassergewinnung die sogenannte Prüfung der Gasfreiheit der oft unterirdisch ausgebauten Brunnenstuben eine entscheidende Rolle im Arbeitsschutz. Nicht alle Förderbrunnen bzw. Rohwässer ostfriesischer

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (HRSG.): JOHANNA OEST ET AL (2019): GeoBerichte 35 Methan im Grundwasser Niedersachsens, 53 Seiten.
- [2] LBEG (2024): Niedersächsisches Bodeninformationssystem, Bodenkundliche Übersichtskarte Niedersachsen und Bremen 1:500.000, farblich verändert, <https://nibis.lbeg.de/net3/public/ikxcms/default.aspx?pgid=591>
- [3] LGLN (2024): Topografische Hintergrundkarte
- [4] LBEG (2024): Niedersächsisches Bodeninformationssystem, Kohlenstoffreiche Böden in NDS 1: 50 000, <https://nibis.lbeg.de/net3/public/ikxcms/default.aspx?pgid=1026>
- [5] FURTA, H., & LANGGUTH, H. R. (1967). Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen, Mem. In IAH-Congress, Hannover.
- [6] Friedrich Schiller Universität Jena, BEATRIX M. HEINZE ET AL (2024): Poster - Microbial methane oxidation in groundwater ecosystems, 1 Seite.

Wasserwerke sind auf Methan untersucht – die mittlere Methankonzentration im Rohwasser anhand der vorliegenden Daten inkl. Förderbrunnen beträgt etwa 5 mg/l. Dies würde bei einer jährlich geförderten Rohwassermenge in Ostfriesland von ca. 57 Mio. m^3/a einer Methanemission von etwa 285 t/a entsprechen (energetisch ca. 4.000 MWh/a). Um die Methanemissionen nicht in die Atmosphäre zu entlassen, könnte beispielsweise die Nutzung einer *Festoxidbrennstoffzelle* geprüft werden. Damit kann Methan zur Stromerzeugung verwendet und dieser z.B. im Wasserwerk genutzt werden. Bei dieser chemischen Umwandlung von Methan in elektrische Energie fällt als Nebenprodukt Wasser an. Eine Studie aus den Niederlanden (April 2021) hat die Machbarkeit der Stromerzeugung in der *Festoxidbrennstoffzelle* untersucht. Hier wurde Methan aus dem Grundwasser gewonnen und konnte als „Brennstoff“ verwendet werden [11].

- [7] Umweltbundesamt (HRSG.): JOHANNA APPELHANS ET AL (2022): Unterschätztes Treibhausgas Methan - Quellen, Wirkungen, Minderungsoptionen, 33 Seiten.
- [8] Bundesverband Geothermie <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/m/methan>, zuletzt aufgerufen 01.08.2024.
- [9] Göthe Universität Frankfurt (HRSG.): PHILIP STAUDIGEL ET AL (2024): Führten wärmere Meere zu Methan-Freisetzung, <https://aktuelles.uni-frankfurt.de/forschung/fuehrten-waermere-meere-zu-methan-freisetzung/>
- [10] Universität Tübingen (HRSG.): MARTYNA GLODOWSKA ET AL. (2020): Arsenic mobilization in groundwater driven by microbial iron-dependent anaerobic oxidation of methane. Nature Communications Earth & Environment, 7 Seiten.
- [11] Delft University of Technology, SAADABALDI, A., LINDEN VAN, N., HEINSBROEAK, A., ARAVIND, P. (HRSG.): A solid oxide fuel cell fuelled by methane recovered from groundwater Stand April 2021, 11 Seiten, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621000974?via%3Dihub>

Gewässerkundlicher Landesdienst des NLWKN

Impressum



Herausgeber
Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

NLWKN Direktion
Am Sportplatz 23
26506 Norden
Telefon: (04931) 947 - 0
E-Mail: pressestelle@nlwkn.niedersachsen.de
www.nlwkn.niedersachsen.de

Titelbild

Grundwassermessstelle Leydeich West

Gestaltung

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Aurich
Oldersumer Straße 48
26603 Aurich
Telefon (04941) 176-116

Dipl. Ing. Andreas Roskam
B.Sc. Lisa Wiegmann

Stand Dezember 2024



Grundwasser

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz



NLWKN.
Für Mensch und Umwelt.
Für Niedersachsen.

Regionales Parameterblatt

Gelöstes Methan (CH_4) im Grundwasser Ostfrieslands

Daten 2000 bis 2023



Niedersachsen

Messnetz und Daten

Gelöstes Methan ist in der Grundwasser-Analytik kein Standard-Parameter und der Datenumfang sowie die Zahl der untersuchten Messstellen im Vergleich zu den Hauptanionen und -kationen eher gering (Abb. 1). Gleichwohl findet die Konzentration von Methan in den Grundwasserleitern zunehmend Beachtung, denn im Grundwasser (GW) gelöstes Methan erschwert die Trinkwasseraufbereitung. Da das Grundwasser als Methan-Quelle wirkt, erlangt es eine besondere Bedeutung auch unter Klimaschutz-Aspekten.

Das vorliegende Parameterblatt gibt einen Überblick zu den regionalen Daten. Diese stammen für das GW-Messnetz des Landes aus dem Verbundprojekt mit der Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (BGR) und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) 2014 bis 2016 [1] – der NLWKN hat dabei die Proben gewonnen und bereitgestellt.

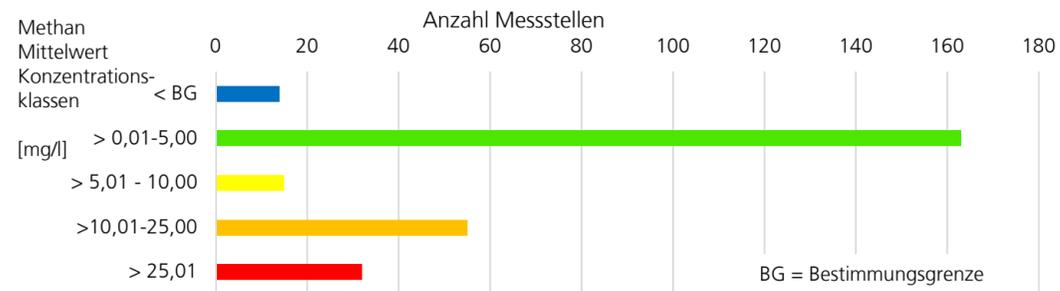
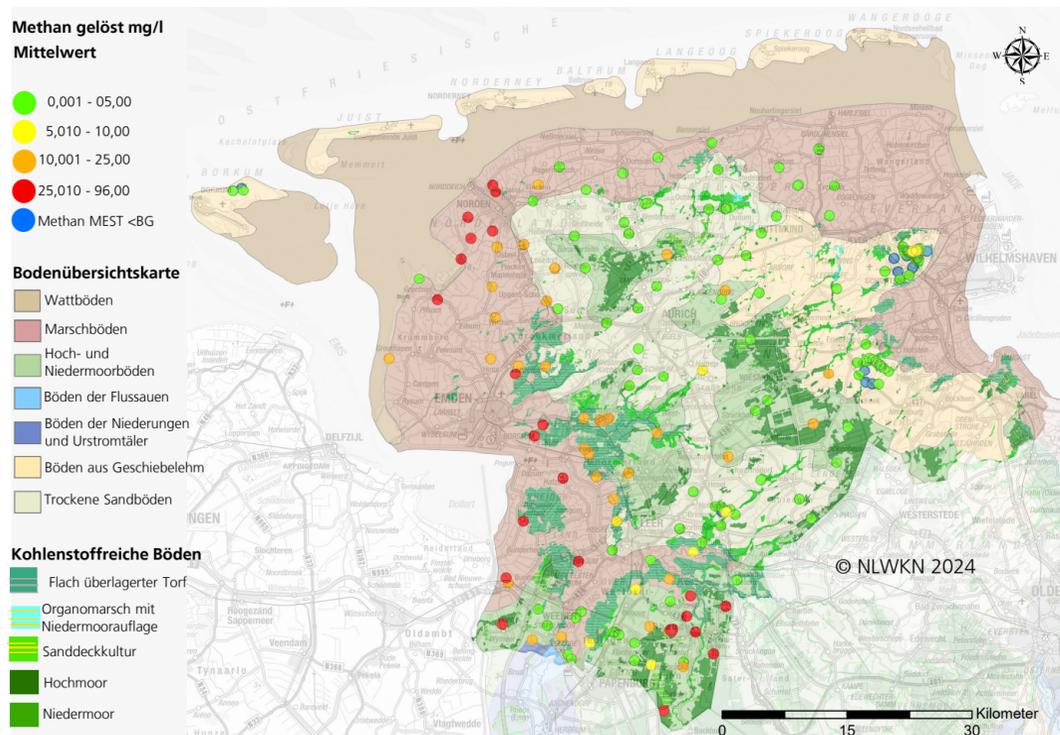


Abb. 1: Untersuchte Messstellen in Methan-Konzentrationsklassen



Karte I: Räumliche Verteilung der Methan-Konzentrationsklassen, Grundlagenkarten nach [2], [3] und [4]

Darüber hinaus wurden von vielen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) Methanuntersuchungen durchgeführt, deren Daten in diese Auswertung mit einfließen. Die Methanuntersuchungen der WVU fokussieren überwiegend auf deren Förderbrunnen. Die vorliegende Auswertung umfasst Ergebnisse aus 209 Grundwassermessstellen, 60 Förderbrunnen sowie 10 Rohmisch- oder Reinwässer der Wasserwerke Ostfrieslands.

An Messstellen mit erhöhten Methankonzentrationen im Grundwasser, insbesondere oberhalb des Sättigungsgleichgewichtes, kann bei der Probengewinnung Methan gasförmig entweichen. Praktische Versuche (NLWKN 2018) haben gezeigt, dass es im freien Gelände nicht zu entzündlichen Gas-Luft-Gemischen kommt (5 bis 15 Vol.-% in Luft). Bei Probenahmen z.B. in geschlossenen Räumen wie Brunnenstuben können im Einzelfall Maßnahmen zum Arbeitsschutz erforderlich sein.

Methan gelöst mg/l

Mittelwert in Klassen

- 0,01 - 5,00
- >25,01

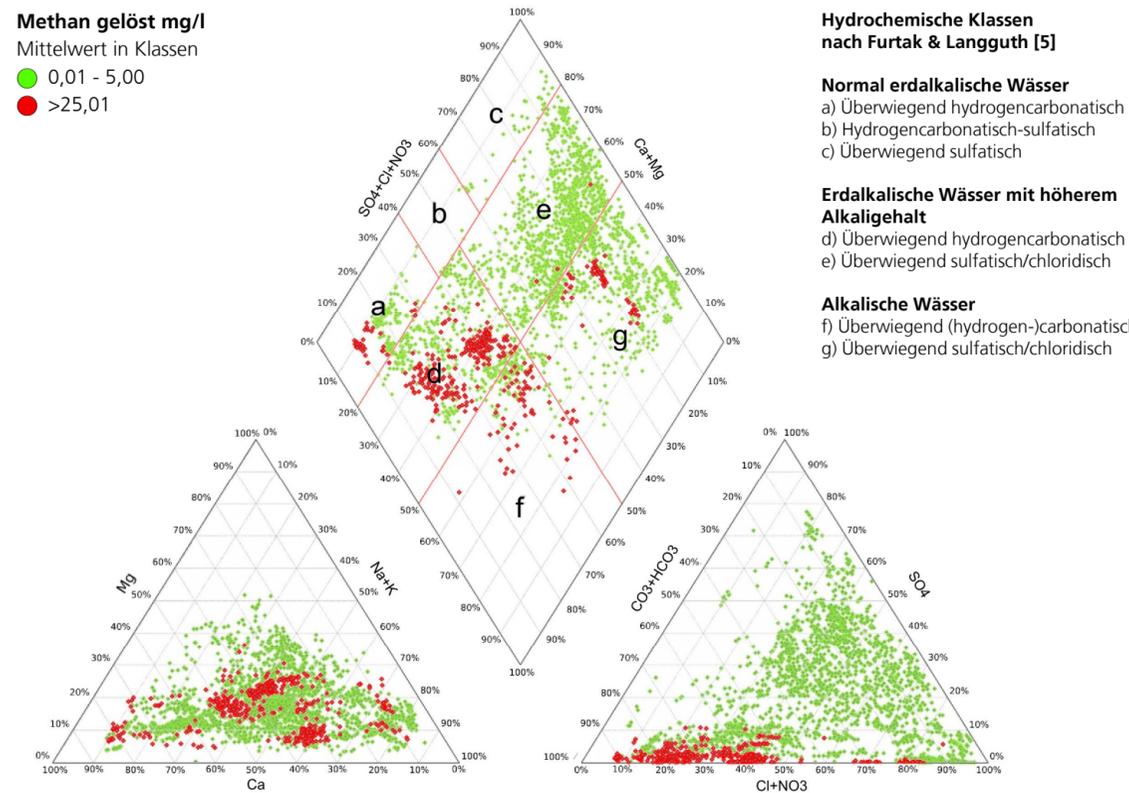


Abb. 2: Piperdiagramm, hydrochemische Auswertung der Proben mit Klassifizierung in Grundwassertypen n. Furtak & Langguth [5]

Herkunft und Eigenschaften

Methan ist eine chemische Verbindung aus der Gruppe der Alkane mit der Summenformel CH_4 . Das farb- und geruchlose, brennbare Gas kommt natürlicherweise in Sümpfen, Mooren und Wäldern vor (Sumpfgas). Auch die Permafrostböden der Arktis und die Meeresböden sind natürliche Methanquellen und -senken. Methan ist ein Hauptbestandteil von Erdgas.

Gase spielen im Grundwasser neben den mineralischen Inhaltsstoffen eine sehr wichtige Rolle. So bestimmt z.B. der Gehalt an gelöstem Kohlenstoffdioxid (CO_2) das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht im Grundwasser und damit die Löslichkeit von Hydrogencarbonat und Calciumcarbonat. Schwefelwasserstoff (H_2S) mit seinem bekannten, typisch fauligen Geruch kommt in reduzierten und meist tieferen Grundwasserleitern sowie Niederungsgebieten häufig vor. Methan (CH_4) gehört neben dem genannten Kohlenstoffdioxid, dem Schwefelwasserstoff und dem gasförmigen Stickstoff (N_2) z.B. aus der Denitrifikation, zu den häufigsten im anoxischen Grundwasser vorkommenden Gasen. Es kann durch Mikroorganismen in-situ im Grundwasser gebildet werden (biogenes Methan) oder aus tieferen Kohlenwasserstofflagerstätten in das Grundwasser migrieren (thermogenes Methan) [1].

Ergebnisse aus dem Verbundprojekt zeigen, dass sich hohe Konzentrationen von Methan insbesondere in den Küsten- und Flussmarschen sowie den Niederungen und Moorengebieten

finden. Die Grundwässer mit erhöhten Methangehalten zeichnen sich größtenteils durch geringe Gehalte an Sauerstoff ($<0,5$ mg/l), Nitrat ($<0,5$ mg/l) und Sulfat (<5 mg/l) aus [1]. Diese anoxischen Bedingungen unter denen methanogene Mikroorganismen ihre Energie durch die Bildung von Methan gewinnen können, sind in den Grundwasserleitern Ostfrieslands sehr verbreitet.

Lockersedimente, die einen hohen Anteil organischer Substanz enthalten, dienen als Ausgangssubstrat für eine in-situ Bildung von biogenem Methan. Dazu zählen vor allem die holozänen, z.T. von Torf unterlagerten Marschsedimente, sowie Hoch- und Niedermoore in den Niederungsgebieten – auch diese Voraussetzungen sind für die Region Ostfriesland sehr prägend.

Die Sättigungskonzentration von gelöstem Methan liegt abhängig von Druck und Temperatur bei ca. 27 mg/l (15°C und 10^5 Pa Methan-Partialdruck). Im Grundwasser gelöstes Methan wird mit dem Grundwasserstrom transportiert. Ist das Grundwasser an Methan übersättigt, kann es zur Bildung einer Gasphase kommen. Freies Gas steigt aufgrund der geringen Dichte im Untergrund auf.

Der Energiegewinn durch Methanogenese ist im Vergleich zu anderen Reduktionsprozessen gering, so dass in z.B. Sauerstoff, Nitrat, Eisen oder Sulfat haltigen Grundwässern die biogene Methanbildung gehemmt bzw. vermindert ist.

Ergebnisse der Auswertung

Piperdiagramm

Das Piperdiagramm (Abb.2) stellt die chemische Zusammensetzung von unterschiedlichen Grundwassertypen dar und bezieht sich auf Proben von Messstellen in Ostfriesland mit Methanuntersuchungen. Diese werden in Bezug auf das Vorkommen von Methankonzentrationen in Klassen dargestellt, wobei rote Messpunkte hohe (>25 mg/l) und grüne Messpunkte geringe (<5 mg/l) Mittelwerte aufweisen (vgl. Abb. 1).

Es zeigt sich, dass erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt und überwiegend hydrogencarbonathaltigem Charakter besonders häufig erhöhte Methankonzentrationen aufweisen (Feld d). Sind alkalische Wässer überwiegend (hydrogen-)carbonathaltig geprägt, dann nimmt das Vorkommen von Natrium/Kalium und Härtebildnern vergleichsweise zu und Proben mit höheren Methankonzentrationen sind ebenfalls signifikant vertreten (Feld f). Sind erdalkalische Wässer überwiegend durch Sulfat und/oder Chlorid geprägt, zeigt sich eine besonders hohe Anzahl der Proben mit niedrigen Methankonzentrationen (Feld e). Alkalische Wässer mit überwiegend sulfat-, und/oder chloridhaltiger Prägung, zeigen ebenfalls überwiegend niedrigere Methankonzentrationen in den untersuchten Wässern, wobei hier auch einzelne Standorte in der höheren Methanklasse auftreten (Feld g). Insgesamt lässt sich sagen, dass höhere Methankonzentrationen vorwiegend in hydrogencarbonatischen alkalischen Grundwässern zu erwarten sind (Feld d und f).

Tiefenverteilung

Mikrobielle Prozesse, geologische Bedingungen, Sauerstoffverfügbarkeit und das Auftreten von organischer Substanz spielen eine bedeutende Rolle für das Vorkommen von Methan im Grundwasser. Die Abbildung 3 stellt logarithmisch die mittlere Methankonzentration abhängig von der mittleren Filtertiefe unter der Geländeoberkante dar. Höhere Nachweise von Methan dieser Messdaten verteilen sich über die gesamte Bandbreite der Filtertiefen der untersuchten Messstellen.

Forschung

Das Ziel des Forschungsprojektes „*Microbial methane oxidation in groundwater ecosystems*“ [6] der Universität Jena ist es, die mikrobielle Methanoxidationsrate im Grundwasser zu untersuchen. Dabei konzentriert sich die Studie auf den Prozess, bei dem Methan durch Mikroben in Grundwasserleitern abgebaut wird, die dieses als Energiequelle nutzen.

Danksagung

Herzlichen Dank an Dr. Stefan Schlömer und Dr. Sebastian Jordan vom BGR für die langjährige gute Zusammenarbeit zu Fragen „Methan im Grundwasser“, ihre Fachexpertise und der Methan-Analytik im dortigen Labor.

Eher niedrige Methankonzentrationen wurden in den flach verfilterten Messstellen nachgewiesen.

Räumliche Verteilung der Konzentrationsklassen

Die hydrogeologischen Räume werden durch unterschiedliche geologische Bedingungen wie beispielsweise das Mineralvorkommen, die Bodenart oder die Durchlässigkeit geprägt. Die Darstellung in Karte I wird ergänzt durch die Bodenübersichtskarte [2] mit Informationen zu kohlenstoffreichen Böden [3], um sie in Beziehung mit den Messdaten von Methan zu setzen und diese zu verorten. Zu erkennen ist, dass hohe Methanmittelwerte >25 mg/l vorwiegend in Grundwassermessstellen im Bereich der westlichen und südwestlichen Marschen und auf kohlenstoffreichen Standorten vorkommen. Die Niederungsgebiete der Tiederströme Ems, Leda und Jümme sowie dem Niederungsgebiet Fehntjer Tief zeichnen sich durch Methankonzentrationen im hohen Bereich bis 25 mg/l aus. Niedrige Methankonzentrationen bis 5 mg/l finden sich überwiegend auf der Geest und den nördlichen Marschen Ostfrieslands.

Konzentrationsklassen

Die Abbildung 1 stellt die Anzahl der Messstellen in Konzentrationsklassen der Mittelwerte von Methan dar. Mit 163 Messstellen (58 %) überwiegen die Methankonzentrationen im niedrigeren Konzentrationsbereich bis 5mg/l. Bezeichnend für das Grundwasser in Ostfriesland, mit den hier spezifischen Milieubedingungen (reduziert und kohlenstoffreich), sind jedoch die zusammen 87 Messstellen (31 %) mit Methankonzentrationen in den beiden hohen Klassen zwischen 10mg/l und >25 mg/l.

Sulfat und Methan

Abbildung 4 stellt die Konzentration von Sulfat in Abhängigkeit von Methan im Grundwasser dar. Zu erkennen ist, dass hohe bis sehr hohe Methankonzentrationen von über 10mg/l nur in Grundwässern mit einer Sulfatkonzentration bis zu 10 mg/l vorkommen. Bis auf drei Standorte zeichnen sich alle Messstellen mit Sulfatkonzentrationen über 10mg/l durch niedrige oder sehr niedrige Methankonzentrationen <5 mg/l aus.

Die Analysen zeigen, dass die Methanoxidationsrate stark mit der Methankonzentration korreliert. Das heißt, Methan, das durch Methanogenese oder Migration ins Grundwasser gelangt, wird von den Methanoxidierern gleich als Energie- und z.T. auch als Kohlenstoffquelle genutzt. Geringe Sulfat- und Nitratwerte sowie anaerobe Wässer stehen in Verbindung mit höheren Methankonzentrationen im Grundwasser. Die Betriebsstelle Aurich des NLWKN hat das Forschungsprojekt mit seinem Grundwassermessnetz und gemeinsamen Probenahmen gerne unterstützt.

Danke auch an Beatrix Heinze und ihr Team von der Universität Jena und dem Max Planck Institut für Biogeochemie für ihre Forschungsarbeit und den regen Austausch zum Parameter Methan.